

통계적 방법에 의한 우리나라의 낙뢰특성 분석

낙뢰관련 국제화 규격에 적절히 대응하고, 적합한 설계·시공을 위해서는 낙뢰특성에 대해 정확한 이해가 필요하다. 그러나 우리나라 낙뢰와 관련된 기초연구 자료들을 찾기가 어렵다. 이에 따라 본 연구는 1996년 1월부터 2009년 12월까지 14년간 한국전력연구원에서 관측한 낙뢰자료를 토대로 통계적 방법에 의한 시간적·계절적·지역적 낙뢰특성과 뇌전류의 특성 등을 비교·분석하고 그 결과를 제시함으로써 실무에 활용토록 하는데 목적이 있다.

◆ 11월호부터 연재된 내용입니다.



글_ 정지열 (No. 81169)

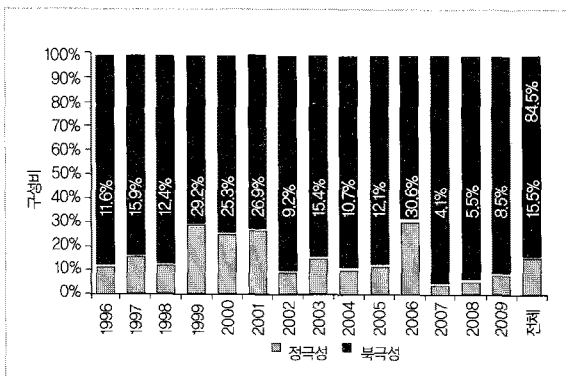
- 현 한국건설관리공사 재직(전기감리단장)
- 대한주택공사 전기설계처장
- 주택관리공단 기술이사
- 건교부중앙설계심의위원
- 대한조명설비학회이사
- 대한주택공사설계자문위원
- 한국토지공사기술자문위원
- 단국대학교 공과대학 전기공학과 졸업
- 송실대학교 산업대학원 전기공학과 졸업(석사)

(2) 낙뢰의 극성

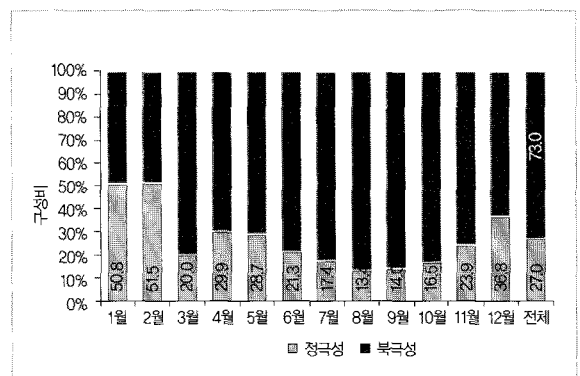
[그림7]은 14년간 발생한 낙뢰 시계열 데이터를 토대로 낙뢰의 극성별 구성비를 분석한 결과를 나타낸 것이다. 전체적으로 14년간 발생한 낙뢰의 극성별 구성비는 정극성이 평균 15.5%이고 부극성은 평균 84.5%였으며 유의성검정 결과, 부극성이 정극성보다 평균구성비가 유의하게 높은 것으로 나타났다. 이를 식으로 나타내면 $p(u,0) = 0.84p_{(0)} + 0.16p_{(u)}$ 와 같다.

그리고 연도별로 낙뢰의 극성구성비를 비교하면 정극성을 기준으로 볼 때 2006년에 30.6%로 크게 상승했으나 2007년 4.1%로 급격하게 감소한 이후 2009년(8.5%)까지 3년간 계속한 자리 숫자로 감소해 상대적으로 부극성은 크게 증가하는 경향을 보이고 있다.

[그림8]은 월별로 낙뢰의 극성구성비를 비교한 것이다. 월 전체구성비는 정극성이 평균 27%이고, 부극성이 평균 73%였다.



[그림 7] 연도별 낙뢰 극성구성비



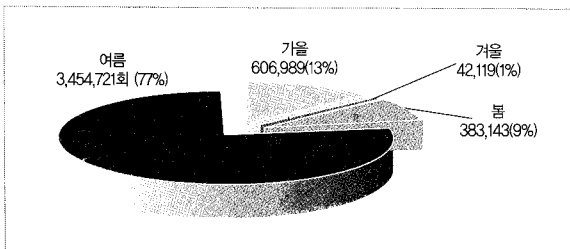
[그림 8] 월별 낙뢰 극성구성비

정극성을 기준으로 볼 때 월별로는 1월~2월에 50.8%~51.5%로 부극성보다 증가하고, 이후 3월~6월에는 20%대, 7월~10월에는 10%대까지 감소했다. 그 후 11월~12월부터는 20~30%대로 완만하게 증가하는 패턴을 보여주고 있다. 따라서 여름철에는 부극성의 낙뢰가 많이 발생하고 겨울철에는 정극성이 상대적으로 증가하는 경향을 보여주고 있다.

3.2 낙뢰의 계절적 특성에 대해

(1) 계절별 낙뢰 수

본 연구에서는 1년 중 계절을 통상 부르는 방법에 따라 봄(3~5월), 여름(6~8월), 가을(9~11월), 겨울(12~2월)로 분류하고 낙뢰가 각 계절에 따라 어떤 분포를 보이는지 비교·분석한 결과를 [그림9]에 나타냈다. 14년간 발생한 전체낙뢰수 4,486,972회 중에서 여름에만 전체낙뢰수의 77%에 해당하는 3,454,721회가 발생해 낙뢰가 여름에 집중 발생하는 경향을 보여주고 있다. 반면 겨울에는 전체낙뢰수의 0.9%에 불과한 42,119회가 발생, 이 시기에는 낙뢰가 적게 발생하는 경향을 뚜렷하게 보여주고 있다.



[그림 9] 계절별 낙뢰분포 변화

<표3>은 계절별로 낙뢰분포가 어떤 변화를 보이는지 비교·분석한 기본적인 통계량을 나타낸 것이다. 평균낙뢰수를 비교하면 여름이 가장 많고 다음으로 가을, 봄, 겨울 순이며, 표준편차에 있어서는 여름이 가장 큰 수치를 보여 낙뢰분포가 다른 계절에 비해 매우 분산되었음을 알 수 있다. 그러나 변동계수

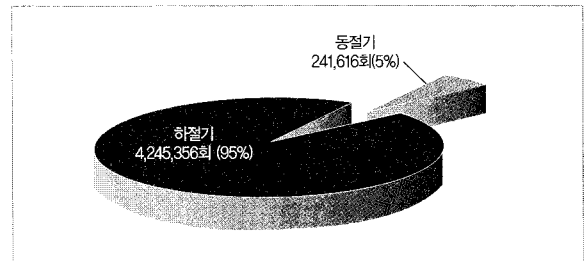
[표 3] 계절별 낙뢰분포의 통계량 (단위: 회)

	봄	여름	가을	겨울
평균	27,367	246,766	46,691	3,009
중앙치	9,267	121,327	40,506	1,733
표준편차	45,335.38	328,351.90	32,351.83	4,482.13
변동계수	1.657	1.331	0.693	1.490

F(3,8)=7.940, **:p<.05

를 보면 봄에 가장 큰 수치를 보여 여름에 비해 낙뢰분포의 변동이 더 심한 것으로 나타났으며 가을은 다른 계절에 비해 낙뢰분포의 분산이나 변동 폭이 적고 비교적 중심에 집중 발생하는 경향을 보이고 있다.

[그림10]은 근래 기후변화로 봄과 가을의 한계가 모호해지는 경향이 있기 때문에 1년을 하절기(4~10월)와 동절기(11~3월)로 구분하고 이 계절에 낙뢰분포는 어떤 변화를 보이는지 비교·분석한 결과를 나타낸 것이다. 하절기에 발생한 낙뢰는 무려 전체낙뢰수의 94.6%인 4,245,356회나 되었으며 동절기는 5.4%에 불과한 241,161회가 발생한 것으로 나타났다.



[그림 10] 하절기·동절기 낙뢰분포 비교

그리고 하절기와 동절기의 통계량을 비교하면 <표4>와 같다. 평균낙뢰 수는 하절기가 606,479회, 동절기는 48,323회였으며, 표준편차와 변동계수를 보면 하절기가 동절기에 비해 낙뢰 분포가 폭 넓게 분산되고 변동도 더 심한 것을 알 수 있다.

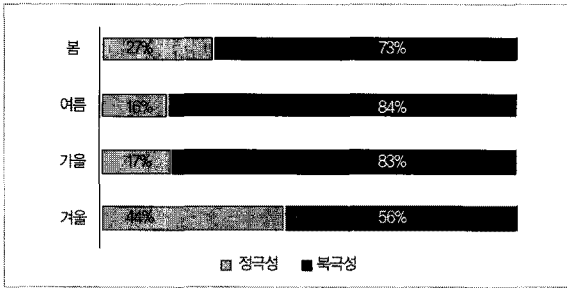
[표 4] 하절기와 동절기의 통계량 (단위: 회)

	하절기(4~10월)	동절기(11~3월)
평균	606,479	48,323
중앙치	288,306	19,567
표준편차	631,014.046	48,119.987
변동계수	1.040	0.996

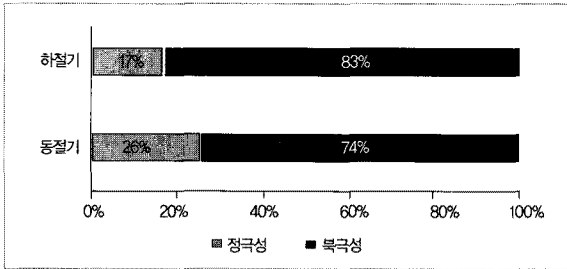
F(1,10)=3.789, n·s:비유의

(2) 계절별 낙뢰의 극성

계절에 따라 낙뢰의 극성은 어떤 변화를 보이는지 비교·분석한 결과를 [그림11~12]에 나타낸다. 그림11에서 봄에는 정극성과 부극성의 비율이 평균30%와 70%대이고, 여름과 가을에는 각각20%와 80%대를 나타내고 겨울에는 40%와 60%대였다. 그리고 그림12에서 하절기에는 정극성과 부극성의 비율은 평균20%와 80%대로, 동절기는 평균30%와 70%대로 나타나 동절기에는 정극성이 약간 증가하는 경향을 보이고 있다.



[그림 11] 계절별 극성구성비

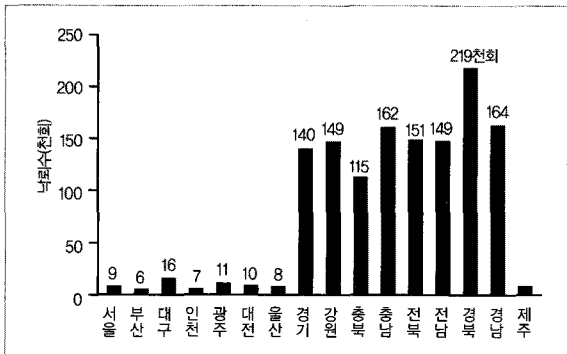


[그림 12] 하절기·동절기의 극성구성비

3.3 낙뢰의 지역적 특성에 대해

(1) 지역별 낙뢰 수

[그림13]은 14년간의 낙뢰 시계열 데이터를 토대로 분석한 지역별³⁾ 낙뢰분포 변화를 나타낸 것이다. 면적 크기에 관계없이 낙뢰수를 기준으로 할 때 낙뢰가 가장 많이 발생한 지역은 경북으로 전체낙뢰수의 16.5%에 해당하는 218,714회가 발생, 한 해에 평균 15,622회가 발생한 것으로 나타났다. 이는 서울 부산 인천 광주 대전 울산이 14년간 발생한 낙뢰 수 보다 더 큰 수치이다. 다음은 경남과 충남이 각각 164,488회(12.4%), 161,826회(12.2%) 순으로 발생하였다. 반면에 낙뢰가 가장 적



[그림 13] 지역별 낙뢰분포 변화

은 지역은 5,889회(0.4%)가 발생한 부산으로 나타났으며 인천 울산 제주지역도 비교적 적게 발생한 것으로 나타났다.

<표5>는 지역별로 발생한 낙뢰분포의 통계량을 나타낸다. 평균과 중앙치를 비교하면 평균이 중앙치에 비해 모두 큰 수치를 나타내 왼쪽으로 기울어져 있는 낙뢰분포 형태를 이루고 있다. 표준편차에 있어서는 경북 전북 충남 경남 등 낙뢰수가 많을수록 큰 수치를 보여 이들 지역의 낙뢰분포 분산 폭이 크다는 것을 알 수 있다. 반대로 낙뢰수가 적은 부산 인천 서울 대전 제주는 낮은 수치를 나타내 낙뢰분포의 분산 폭이 비교적 좁다는 것을 보여주고 있다. 그러나 변동계수를 보면 부산 제주 울산 광주 등의 경우 표준편차의 수치는 낮지만 변동계수가 다른 지역에 비해 큰 수치를 보여 낙뢰분포의 변동이 크다는 것을 알 수 있다.

[표 5] 지역별 낙뢰분포의 통계량

(단위: 회)

	낙뢰 수	평균	중앙치	표준편차	변동계수
서울	9,380	670	598	517.60	0.773
부산	5,889	421	211	446.36	2.115
대구	16,130	1,152	885	1,131.24	0.982
인천	7,037	503	398	445.72	0.886
광주	11,026	788	476	1,092.02	1.386
대전	10,182	727	404	753.17	1.036
울산	7,521	537	48	1,064.00	1.981
경기	139,911	9,994	7,944	7,475.60	0.748
강원	148,857	10,633	7,865	9,142.94	0.860
충북	115,044	8,217	5,341	8,012.41	0.975
충남	161,826	11,559	7,275	11,087.56	0.959
전북	151,162	10,797	6,408	11,131.85	1.031
전남	148,996	10,643	8,153	8,668.69	0.814
경북	218,714	15,622	9,957	16,243.08	1.040
경남	164,488	11,749	7,653	10,863.46	0.925
제주	8,552	611	306	914.99	1.498
전체	1,324,715	94,623	70,471	78,931.44	0.834

F(13,15)=11.150, **p<0.05

(2) 지역별 낙뢰의 밀도

단위 면적당 낙뢰 수는 1996년부터 2009년까지 지역별로 발생한 전체 낙뢰수를 해당 지역의 면적⁴⁾으로 나누고 다시 14년으로 나눈 값을 말하며, 본 연구에서는 이를 낙뢰의 단위 밀도(이하 낙뢰밀도, 단위는 낙뢰 수/km²/년)라 정의한다. 이에 따라 지역별로 낙뢰밀도를 분석한 결과를 나타내면 <표6>과 같다. 전체평균은 1.02이며, 지역별로 낙뢰밀도가 가장 높은 곳은 광주로 평균 1.56이었다. 다음은 전북 1.36, 충남1.35, 대전 1.34, 대구 1.31의 순으로 나타났다. 반면 낙뢰밀도가 가장 낮은 곳은 제주 0.33이며 울산 0.54, 부산0.56, 경북

3) 원 자료에서 서울 등 16개 지역으로 구분되었으므로 본 연구에서도 그대로 사용한다.

4) 원 자료에 따라 대상 지역은 서울 등 16곳, 전체면적은 98,225.04km²으로 하고, 지역별 면적은 홈페이지자료에 있으므로 여기서는 제외한다.

0.82, 전남0.96의 순으로 낮은 밀도를 보이고 있다. 그리고 경북이 광주에 비해 낙뢰밀도가 낮은 것은 경북의 면적이 광주보다 무려 서른여덟배 정도가 크기 때문에 밀도도 그만큼 낮은 것으로 여겨진다.

표6에서 통계량을 비교하면 평균 낙뢰밀도가 가장 높은 광주는 표준편차, 변동계수 모두 다른 지역보다 큰 수치를 보여 분포가 분산된 것으로 나타났으며, 경기 서울 강원 전남은 표준편차와 변동계수의 수치가 모두 낮은 편에 속해 다른 지역보다 비교적 변동이 적어 중심에 집중 분포되었음을 보이고 있다. 그리고 전체평균의 95%신뢰구간은 0.53~1.50로 나타났다. 이것은 엑셀의 기본통계량 분석도구를 이용, 95%신뢰계수를 구한 후 이 수치를 평균에 가감하여 산정했다^[11], 즉 평균 1.02에 95%신뢰계수 0.49를 1.02 ± 0.49 함으로써 0.53에서 1.50가 된다. 따라서 낙뢰밀도의 상·하한치 모두가 전체 평균 0.53~1.51사이를 벗어난 지역이 5개 지역이나 되는 것으로 나타났다.

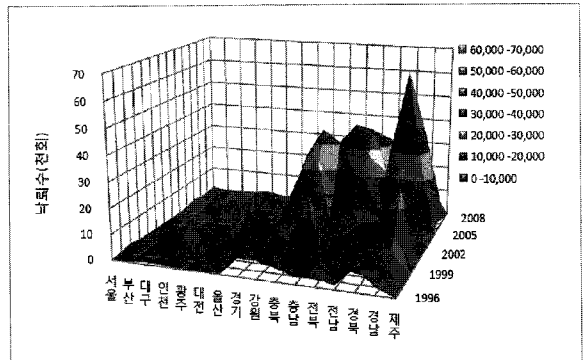
【표 6】 지역별 낙뢰밀도의 통계량 (단위: 회)

	평균	중앙치	표준편차	최소치	최대치	변동계수	95%신뢰구간
서울	1.10	0.99	0.852	0.10	2.79	0.775	0.61~1.59
부산	0.56	0.28	0.594	0.06	1.74	1.061	0.22~0.90
대구	1.31	1.00	1.281	0.06	3.91	0.978	0.57~2.05
인천	1.29	1.07	1.247	0.03	4.79	0.967	0.57~2.01
광주	1.56	0.96	2.207	0.03	8.08	1.415	0.29~2.83
대전	1.34	0.75	1.390	0.33	4.79	1.037	0.54~2.14
울산	0.54	0.05	1.026	0.01	2.97	1.900	0.08~1.16
경기	0.91	0.73	0.682	0.09	2.24	0.751	0.52~1.30
강원	0.66	0.49	0.567	0.06	2.21	0.859	0.33~0.99
충북	1.11	0.72	1.077	0.28	4.15	0.970	0.49~1.73
충남	1.35	0.85	1.290	0.27	4.53	0.956	0.60~2.10
전북	1.36	0.81	1.398	0.23	4.68	1.028	0.33~2.39
전남	0.96	0.74	0.779	0.15	2.84	0.811	0.51~1.41
경북	0.82	0.52	0.854	0.17	3.29	1.041	0.33~1.31
경남	1.13	0.74	1.043	0.18	3.62	0.924	0.21~2.05
제주	0.33	0.17	0.493	0.02	1.80	1.494	0.04~0.62
전체	1.01	0.71	0.844	0.21	2.70	0.836	0.53~1.51

F(13,15)=19.233, **:p<0.05

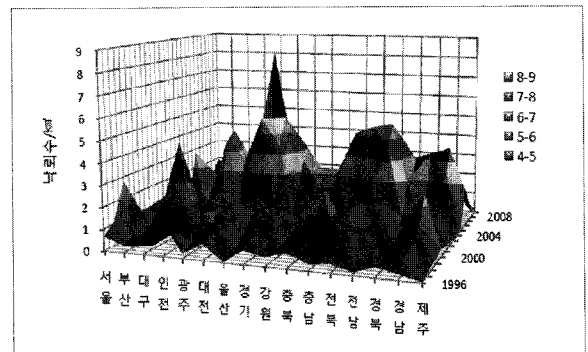
【그림14】【그림15】는 경년에 따라 지역별 낙뢰수와 낙뢰밀도가 어떤 변화 패턴을 보이는지 비교하기 위해 3차원 그래프로 나타낸 것이다. 그림14, 그림15에 보면 2006년 이후 낙뢰가 급격하게 증가하였음을 알 수 있다. 그리고 그림14에서 산봉우리가 뾰족하게 나타난 지역은 1998년 충남, 경기 등 2곳, 2001년 경남 1곳, 2007년 경북 1곳 등이다. 한해 평균 수백회의 낙뢰가 발생한 서울 부산 대구 인천 대전 광주 울산 제주 등 8개 지역은 14년간 매우 낮은 형태의 분포를 보이는 반면, 산봉우리가 가장 뾰족한 경북을 비롯해 경남 충남 전북 전남 강원 경기 충북 등 7개 지역은 2006년 이후 비교적 높은 다봉형의

분포형태를 나타내고 있다.



【그림 14】 연도별 지역별 낙뢰 수 변화

그림15에서 지역별 낙뢰밀도는 전체적으로 다봉형의 분포형태를 보이고 있다. 2005년 이전 산봉우리가 뾰족하게 나타난 지역은 낙뢰가 많이 발생한 1998년 인천4.79, 충남3.29, 서울 2.79, 경기2.12 등 4곳과 2001년 경남2.49이며, 나머지 지역은 대부분 낮은 분포형태를 이루고 있다. 2006~2008년에는 낙뢰가 많이 발생한 영향으로 대부분의 지역에 봉우리가 높게 나타나 있다.



【그림 15】 연도별 지역별 낙뢰밀도 변화

연도별로는 2006년 광주4.79이고 대구 대전 전북3~4미만, 서울 인천 경남2~3미만, 부산 등 나머지 지역은 0.9~2미만을 나타내고 있다. 2007년은 대전 전북 충남 충북4~5미만, 대구 경남 경북3~4미만, 울산 경기 강원2~3미만, 전남 등 나머지 지역은 0.9~2미만으로 나타나 다른 해보다 전체적으로 높은 밀도를 보이고 있다. 2008년은 전체 산봉우리 중에서 가장 뾰족한 광주가 8.08, 전북 대전3~4미만, 울산 대구 전남 충북 2~3미만, 서울 등 나머지는 0.66~2미만을 나타냈다. 그리고 2009년은 낙뢰가 급격한 감소영향으로 낙뢰밀도도 낮아 전 지역이 최소0.4(제주) 최대1.94(서울)로 낙뢰분포가 아주 미미한 변화 형태를 보이고 있다. ◆